

Л.В. ДУБИНЕЦЬ, д.т.н., проф.,
Д.В. УСТИМЕНКО, к.т.н., ст. викладач,
Р.В. КРАСНОВ, асистент

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПУСКОВІ ДВИГУНА КОМПРЕСОРА ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЕР2 (ЕР1)

Представлена математична модель системи мотор-компресор електропоїзда ЕР2 та наведені результати моделювання перехідних процесів в ній при пускові та коливаннях напруги живлення.

Представлена математическая модель системы мотор-компрессор электропоезда ЭР2 и приведены результаты моделирования переходных процессов в ней при пуске, а также при колебаниях напряжения в сети.

Аналіз експлуатації електропоїздів ЕР1, ЕР2 показує, що електродвигуни (ДК-409) компресорів (ЕК-7Б) працюють значно менше від закладеного в них виробником строку експлуатації. В середньому, по Дніпропетровському локомотивному депо ТЧ-8, електродвигун кожні 3-4 роки відправляється на капітальний ремонт. З усіх причин які призводять до передчасного виходу з ладу найбільш поширеною є пробій ізоляції якірних обмоток (до 50 % від загальної кількості). Ймовірною причиною є недосконалий захист машини, як при короточасних (режим пуску) так і при тривалих перевантаженнях, що призводить до інтенсивного перегріву ізоляції і передчасного виходу її з ладу.

Для дослідження перехідних процесів в електричних колах двигуна компресора, з метою оцінки величини пускового струму та його тривалості, розроблено математичну модель, що враховує важкі умови пуску компресора, а також можливість стрибкоподібної зміни напруги живлення в межах ± 500 В.

Система диференціальних рівнянь, що описує роботу двигуна постійного струму послідовного збудження[1]:

$$\begin{cases} L_{\Sigma} \frac{di}{dt} = U_{\beta} - c\Phi \cdot \omega - i \cdot R_{\Sigma} \\ J \frac{d\omega}{dt} = c\Phi \cdot i - M_C \\ c\Phi = f(I) \end{cases}, \quad (1)$$

де L_{Σ} , R_{Σ} – сумарні індуктивний та активний опори якірного кола; U_{β} – напруга підведена до якірного кола двигуна; ω – частота обертання вала двигуна; c – постійна двигуна; Φ – основний магнітний потік; M_C – статичний момент опору на валу двигуна; J – приведений до вала двигуна момент інерції механічних частин системи.

Система диференціальних рівнянь (1) є нелінійною системою, оскільки містить вираз, що описує криву намагнічування. Нелінійна залежність $c\hat{O}$ від струму може бути з прийнятною точністю апроксимована прямолінійними відрізками і записана наступною системою рівнянь:

$$c\hat{O}(i) = \begin{cases} c\hat{O}_{01} + k_{\hat{O}1} \cdot i, \\ c\hat{O}_{02} + k_{\hat{O}2} \cdot i, \\ \mathbf{M} \\ c\hat{O}_{0i} + k_{\hat{O}i} \cdot i. \end{cases} \quad (2)$$

де $k_{\phi i} = \frac{\lambda_i \psi_i}{\psi_{i-1} \lambda_i} \tan \alpha_i$ – коефіцієнт, що залежить від форми кривої на i -й ділянці апроксимації.

$$M_C = \Delta M_{\Sigma} + M_{KOP\Sigma} \quad (3)$$

Момент механічних втрат ΔM_{Σ} враховує всі види механічного тертя. Корисний момент опору $M_{KOP\Sigma}$ представляє собою ту чи іншу функцію швидкості, в залежності від виду навантаження. Для аналізу механізмів, що здійснюють обертовий рух пропонується використовувати емпіричну формулу Бланка [2], яка в більшості випадків представляє собою деяку ідеалізацію реальних умов але дає задовільне наближення до дійсності:

$$M_C = M_{СПОЧ} + (M_{СНОМ} - M_{СПОЧ}) \left(\frac{\omega}{\omega_{ПОЧ}} \right)^p \quad (4)$$

де $M_{СНОМ}$ – номінальний момент опору механізму; $\omega_{НОМ}$ – номінальна кутова швидкість, при якій момент опору рівний номінальному; $M_{СПОЧ}$ – момент тертя або холостого ходу машини; p – показник степені ($p = 1$ для поршневих компресорів).

Основним елементом поршневого компресора є кривошипно-шатунний механізм, момент інерції якого залежить від кута повороту вала і з урахуванням кінематичної схеми може бути записаний наступним рівнянням [3]:

$$J_K = mR^2 \cdot \sin^2(\alpha + \beta) / \cos^2 \beta \quad (5)$$

де m – маса елементів механізму, що поступально рухаються; R – радіус обертання кривошипа.

Кут β можна виразити в функції кута α :

$$\beta = \arcsin\left(\frac{R}{L} \sin \alpha\right) \quad (6)$$

де L – довжина шатуна.

Система рівнянь (1) з урахуванням виразів (2, 4, 5, 6) описує динаміку роботи електромеханічної системи двигун постійного струму послідовного збудження – поршневий компресор і є його математичною моделлю.

На рис. 1 наведено графік перехідного процесу струму в системі мотор-компресор при нормальних умовах пуску (напруга контактної мережі 3000 В, температура навколишнього середовища +20 °С). Максимальний кидок струму складає біля 34 А, при номінальному струмі 4,65 А.

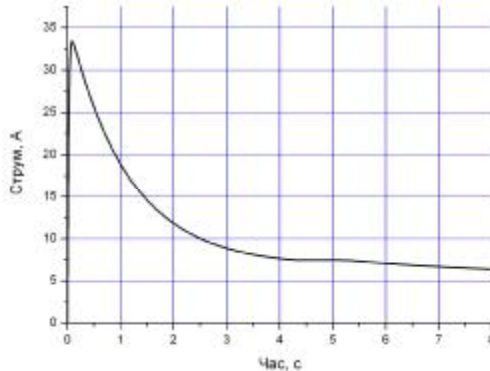


Рис. 1. Графік струму при пуску мотор-компресора

Адекватність результату моделювання по запропонованій моделі перевірена в реальних умовах. На рис. 2 наведена осцилограма струму, яка отримана для тих же умов, що й розрахована крива рис. 1. Максимальний кидок струму зафіксований пристроєм 25,195 А, час перехідного процесу також корелюється з тим, що отримано аналітичним способом.

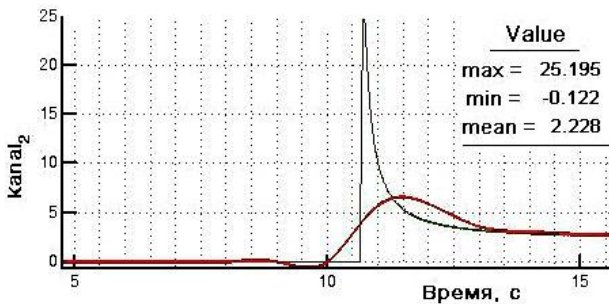


Рис. 2. Осцилограма струму при пуску мотор-компресора

Все це дозволяє вважати, що запропонована модель, з урахуванням всіх

допущень, задовільно описує реальні динамічні процеси, що проходять в системі мотор-компресор.

На рис. 3-4 представлені графіки перехідного процесу струму при стрибкоподібній зміні напруги в контактній мережі ± 500 В, що часто відповідає експлуатаційним умовам. У випадку стрибкоподібного збільшення напруги живлення рис. 3 відбувається деякий кидок струму і досить швидко струм встановлюється на рівні близькому до номінального.

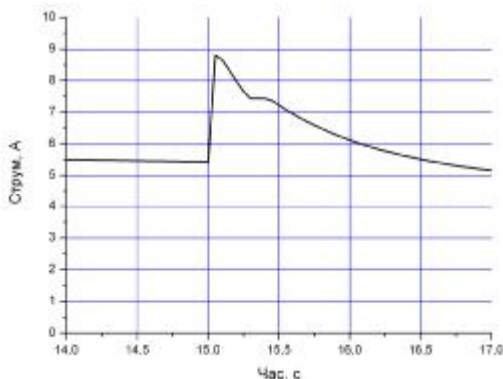


Рис. 3. Графік зміни струму при стрибкоподібному збільшенні напруги в контактній мережі на 500 В

У випадку із зменшенням напруги в контактній мережі на 500 В рис. 4 в системі встановлюється струм на рівні 13 А, що значно перевищує номінальне значення 4,65 А.

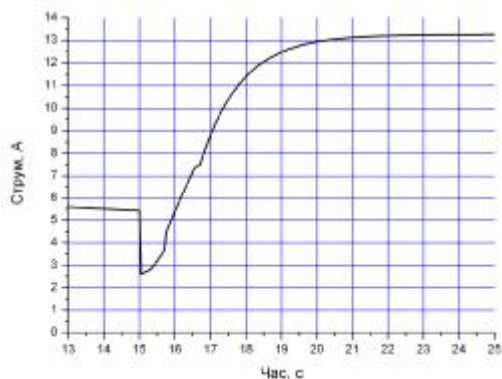


Рис. 4. Графік зміни струму при стрибкоподібному зменшенні напруги в контактній мережі на 500 В

Аналізуючи отримані результати можна зробити наступний висновок,

система мотор-компресор на електропоїздах ЕР2 працює із значними переваженнями по струму, що і є основною причиною передчасного старіння ізоляції і як наслідок передчасного виходу машини з ладу. З урахуванням вищесказаного актуальною є необхідність суттєвого підвищення якості захисту кіл двигунів компресорів як під час пуску, так і в процесі роботи системи, а також заміна ізоляції класу F на клас H.

Список літератури: 1. Моделювання електромеханічних систем О.П. Чорний, А.В. Луговий, Д.Й. Родькін – Кременчук, 2001. – 410 с. 2. *Гладыр А.И.* Трогание и пуск как фазы единого процесса. – Научные труды КГПУ. Выпуск 1/2001(10), Кременчуг – С. 24-29. 3. *Чиликин М.Г., Сандлер А.С.* Общий курс электропривода: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.